



## 실험방법에 따른 포장 콘크리트의 피로수명

### Fatigue Lives of Pavement Concrete According to Fatigue Test Methods

윤 경 구\* · 김 동 호\*\* · 홍 창 우\*\*\*

Yun, Kyong-Ku · Kim, Dong-Ho · Hong, Chang-Woo

#### Abstract

Concrete structures such as bridges, pavement, and offshore structures are normally subjected to repeated load. Because highway and airfield pavements are to resist tension in bending, fatigue failure behavior is very important the fatigue life of materials. Therefore, in this paper was carried according to the fatigue test method and experiment variables for pavement concrete.

The fatigue tests were applied split tension(150 × 75 in size) and flexural(150 × 150 × 550 in size) beam fatigue test method. Major experimental variable in the fatigue tests in order to consideration of fatigue life were conducted loading frequency of 1, 5, 10, 20Hz and loading shape of block, sine, triangle and moisture condition of dry and wet condition and curing age of 28day and 56day. The test results show that the effect of loading frequency increasing the frequency increased fatigue life, decreased significant at frequencies below 200 cycles. The effect of loading wave form on fatigue life show that a block decreased, triangular increased in comparison with sine. The effect of moisture condition decreased in wet condition in comparison with dry condition. The effect of curing age increased in 56days in comparison with 28day.

*Keywords : fatigue failure, fatigue tests, split tension, fatigue life,*

#### 요 지

교량, 도로, 공항 및 해양구조물 등은 반복하중을 받게 되는 대표적 토목구조물이다. 특히, 공항이나 도로포장체는 휠에 의한 인장에 의해 파괴되기 때문에 사용재료의 특성에 기초한 피로수명의 고찰은 매우 중요하다. 따라서, 이 논문에서는 포장 콘크리트의 피로수명을 주요 실험변수에 따라 실험하고 실험방법에 따라 비교 분석하고자 하였다.

피로실험은 조깅인장 피로실험(Ø 150mm × 75mm)과 휨인장 피로실험(150mm × 150mm × 550mm) 방법을 적용하여 하중재하 속도(1, 5, 10, 20Hz), 하중재하 형상(사각파, 정현파, 삼각파), 시험체의 습윤조건(건조상태, 습윤상태) 및 양생기간(28일, 56일)을 주요 실험변수로 하여 수행하였다. 실험결과 하중재하 속도가 느릴수록 피로수명은 현저히 감소하는 것으로 나타났으며, 하중재하 속도가 빠를수록 피로수명은 증가하는 것으로 나타났다. 하중재하 형상에 따라서는 정현파를 기준하여 사각파에서는 피로수명의 급격한 감소를 나타냈으며 삼각파에서는 피로수명이 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 시험체의 습윤조건에 따라서는 건조상태에 비하여 습윤상태에서는 피로수명이 감소하였으며, 양생기간에 따라서는 재령 28일에서 56일로 증가함에 따라 피로수명이 증가함을 나타내었다.

*핵심용어 : 피로파괴, 피로실험, 조깅인장, 피로수명*

\* 정회원 · 강원대학교 토목공학과 조교수  
 \*\* 정회원 · 강원대학교 석재복합신소재제품연구소 연구원  
 \*\*\* 정회원 · 충주대학교 건설도시공학과 전임강사



## 1. 서론

콘크리트 포장, 교량, 공항, 해양 및 항만구조물 등은 지속적으로 반복하중을 받게 되는 대표적인 토목구조물이다. 이러한 구조물은 차량하중이나 파력의 주기적인 반복하중으로 인하여 재료가 점진적으로 약화되는 피로손상을 받게 되며 이로 인한 구조물의 기능 및 성능저하는 장기 공용성을 감소시키므로 합리적인 설계가 필요한 구조물이라 할 수 있다. 특히 콘크리트 포장체의 경우 현재까지 국내에서 피로에 대한 연구가 전혀 진행된 바 없는 실정인어서 피로수명에 영향을 미치는 요소에 대한 정량적 분석이 필요한 실정이다.

또한, 지금까지 국내·외 콘크리트의 피로실험은 대부분 압축응력이나 휨응력을 받는 경우에 대하여 연구되어 왔다. 그러나 실제 포장체는 순수 휨응력을 받기 보다는 압축응력과 인장응력을 동시에 받게 되는 2축 응력상태의 조합응력을 받게 된다. 이러한 상태를 재현 할 수 있는 실험방법이 쪼갠인장 피로실험 방법이며 포장 콘크리트의 피로거동을 이상적으로 모사할 수 있고 파괴모드가 유사한 이점을 가지고 있다. 또한, 실험의 간편성 및 현장에서 코어채취를 통해 실험이 가능하므로 포장 콘크리트의 피로수명이나 피로강도의 예측, 잔존수명 평가에 기여할 수 있는 장점을 지니고 있으나 콘크리트의 경우 적용한 바 없는 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 국내 고속도로 건설에 사용되는 포장 콘크리트를 대상으로 쪼갠인장 피로실험 방법과 휨인장 피로실험 방법을 사용하여 포장 콘크리트의 피로수명에 영향을 미치는 요소를 분석하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 개요

본 논문에서는 콘크리트의 피로실험 방법을 쪼갠

인장 피로실험과 휨인장 피로실험 방법을 적용하여 수행하였으며, 쪼갠인장강도 및 휨강도 시험을 재령 7일과 28일 및 56일에 대하여 실시하고 재령 56일의 정적강도를 기준으로 하여 피로실험에 적용하였다.

주요 실험내용과 실험변수는 다음과 같다.

포장 콘크리트의 피로수명에 영향을 미치는 인자를 분석하기 위해 하중재하 속도, 하중재하 형상, 시험체의 습윤상태 및 양생기간을 주요 실험변수로 선정하여 실험하였다. 하중재하 속도는 1초에 재하되는 반복하중의 회수로서 각각 1, 5, 10, 20Hz로 변화하여 이에 따른 영향을 분석하였으며, 하중재하 형상에 따라서는 일반적으로 차량하중을 이상적으로 재현할 수 있는 정현파를 기준으로 사각파 및 삼각파의 하중형태가 피로수명에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 또한, 콘크리트 포장의 경우 상대습도에 의해 포장체의 거동이 변화되므로 이러한 영향을 파악하고자 시험체의 조건을 건조상태와 습윤상태로 구분하여 실험하고자 하였으며, 양생기간에 따른 피로수명의 영향은 재령 28일과 56일로 하여 실험을 수행하였다. 이때 적용된 응력수준은 80%이며 응력비는 0.1로 하였다.

### 2.2 콘크리트의 배합

콘크리트 배합에 사용된 재료는 강원도 영월군 서면에서 생산되는 국내 S사 1종 보통포틀랜드 제품의 시멘트를 사용하였다. 굵은골재는 충북 음성군 감곡면 오향리에서 채취된 골재를 사용 하였으며, 잔골재는 경기도 여주군 점동면 덕평리에서 채취한 골재를 사용하였다. 굵은골재의 최대치수는 32mm로서 골재의 입도분포가 표준입도에 맞지 않아 32mm의 골재와 19mm의 골재를 약 55%:45%의 비율로 혼합하여 사용하였다. 그림 1은 골재의 입도분포 곡선을 나타낸 것으로 32mm와 19mm의 굵은골재 혼합 입도분포 곡선과 잔골재의 입도분포가 시방입도 범위내에 분포하는 것으로 나타났다. 또한, 콘크리트 배합에 사



용된 혼화제는 국내 S사 제품의 표준형 AE감수제로서 첨가량은 시멘트 중량의 0.15%를 사용하였다.

콘크리트의 배합은 국내 고속도로 건설에 사용되는 시방 배합표를 기준으로 하였으며, 콘크리트 배합 전 골재의 입도와 함수상태를 보정하여 현장배합으로 환산한 후 실험하였다. 또한, 콘크리트의 제조에서 재료의 투입순서는 굵은골재와 잔골재 및 시멘트를 믹서내에 투입한 후 30초간 건비빔을 실시하고 혼화제를 배합수에 희석하여 투입한 후 1분간 배합하여 배출하였다. 표 1은 실험에 사용된 콘크리트 배합표를 나타낸 것이다.

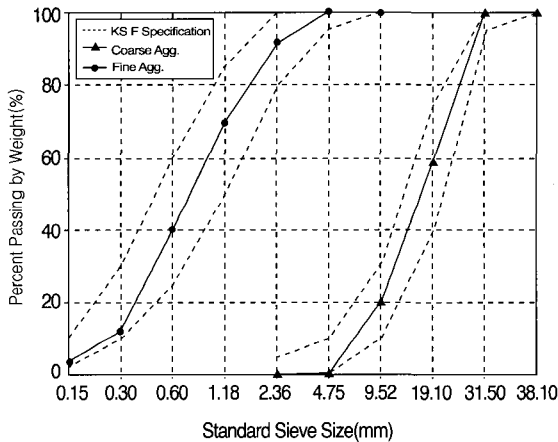


그림 1. Gradation Curve of Aggregates

표 1. Mix Proportions of Concrete

[unit : kg/m<sup>3</sup>]

| W/C (%) | S/a (%) | W (kg) | C (g) | S (kg) | G (kg)                |                       | AE (g) |
|---------|---------|--------|-------|--------|-----------------------|-----------------------|--------|
|         |         |        |       |        | G <sub>1</sub> (32mm) | G <sub>2</sub> (19mm) |        |
| 42.3    | 37.7    | 144    | 340   | 682    | 660                   | 532                   | 510    |

## 2.3 실험방법

콘크리트의 정적 강도측정 방법은 KS F 2423의 규정에 의하여 쪼갠인장강도를 측정하였으며, 휨강도 실험은 KS F 2408의 규정에 따라 실시하였다.

쪼갠인장강도와 휨강도는 피로실험과 동일한 조건

으로 하였으며 각각 10톤 및 20톤 용량의 INSTRON 시험기를 사용하였다. 재령 7일과 28일에는 3개의 공시체를 실험하였으며 재령 56일의 강도측정은 피로실험에 적용할 응력수준의 범위를 결정하기 위하여 각각 5개 이상의 시험체를 실험하여 그 평균값을 사용하였다. 여기서, 쪼갠인장 강도의 경우 정적 강도측정은 KS 규정에 따라  $\phi 15 \times 30$ cm의 원주형 공시체를 사용해야 되나 피로실험에 사용될 시험체와 동일한 조건으로 실험하기 위하여 콘크리트용 시료 절단기를 이용하여  $\phi 15 \times 7.5$ cm가 되도록 절단한 후 실험하였다. 또한, 휨강도는  $15 \times 15 \times 55$ cm의 각주 공시체를 3점 재하시험법에 의해 실시하였다.

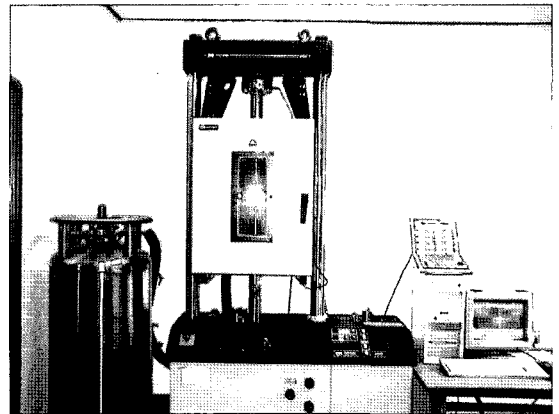
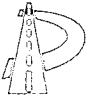


그림 2. Photograph of Split Tension Fatigue Test Set-up

### 2.3.1 쪼갠인장 피로실험

쪼갠인장 피로실험은  $\phi 15 \times 30$ cm의 원주형 시험체를 제작한 후  $\phi 15 \times 7.5$ cm가 되도록 절단한 후 버어너를 이용하여 시험체의 두께를 측정 한 후 실험에 사용하였다. 또한, 시험체가 가압판 위에서 편심이 되지 않도록 하고 가압판과 공시체 사이 균등한 하중전달과 시험체의 국부적인 파괴를 막기 위해 3mm 두께의 가압판을 설치하여 실험하였다.

실험은 피로실험 기간 동안 강도의 증진현상을 최소화하기 위하여 시험체를 재령 28일 수중양생 한



후 56일까지 공기 중 양생하여 정적 강도측정 결과로부터 응력수준을 계산하여 피로실험에 적용하였다. 또한, 피로하중 재하시 초기 평균하중까지 도달 시간은 실험적으로 결정한 20초를 가하여 시험체의 손상을 방지하고자 하였으며, 실험의 종료는 200만 사이클까지 수행하였다.

그림 2는 INSTRON Model 8516 시험기를 이용한 쪼갬인장 피로실험 전경을 나타낸 사진이다.

### 2.3.2 휨인장 피로실험

휨인장 피로실험은  $15 \times 15 \times 55 \text{cm}$ 의 각주 공시체를 20톤 용량의 INSTRON Model 8506을 사용하여 정적 강도측정과 동일한 조건인 일단힌지 타단 롤러 지지되고 중앙점에 하중이 재하되는 3점 재하방식으로 실험하였으며, 실험은 200만 사이클까지 수행한 후 종료하였다.

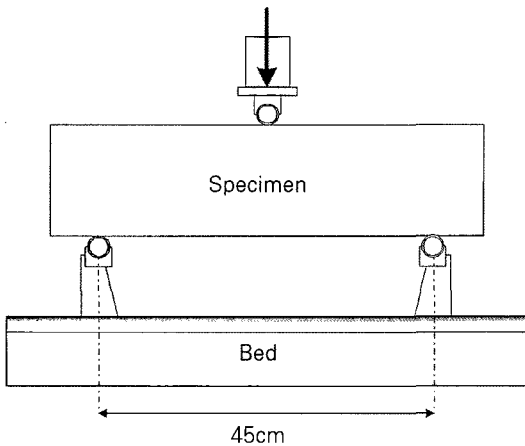


그림 3. Schematic of Flexural Fatigue Test Set-up

휨인장 피로실험에서도 쪼갬인장 피로실험과 마찬가지로 피로실험 기간 동안 강도의 증진현상을 최소화하기 위하여 시험체를 재령 28일 수중양생 한 후 56일까지 공기 중 양생하여 정적 강도측정 결과로부터 응력수준을 계산하여 피로실험에 적용하였다. 피로하중 재하시 초기 평균하중까지 도달시간은 실험적으로 결정한 20초를 가하여 시험체의 손상을 방지

하고자 하였다. 그림 3은 휨인장 피로실험의 개념도를 나타낸 것이다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 콘크리트의 강도 특성

정적 강도측정 결과는 재령 7일, 28일, 56일에서 휨인장 강도의 경우 평균치가 각각  $62 \text{kgf/cm}^2$ ,  $66 \text{kgf/cm}^2$ ,  $71 \text{kgf/cm}^2$ 로 나타나 포장 콘크리트의 설계기준 강도인  $45 \text{kgf/cm}^2$ 를 월등히 상회하는 것으로 나타났으며, 쪼갬인장 강도는 각각  $37 \text{kgf/cm}^2$ ,  $42 \text{kgf/cm}^2$ ,  $47 \text{kgf/cm}^2$ 로 나타났다. 피로실험에 적용되는 응력수준은 재령 56일의 휨인장 강도와 쪼갬인장 강도를 기준으로 결정하였다.

### 3.2 콘크리트의 피로수명

#### 3.2.1 하중재하 속도에 따른 피로수명

하중재하 속도는 1초에 작용되는 하중 반복회수 Hz(cycles/sec)로 표현되며, 일반적으로 하중재하 속도가 느릴수록 콘크리트의 피로수명은 감소하고 하중재하 속도가 빨라질수록 피로수명은 증가하는 것으로 알려져 있다. 또한, Holmen [1982]의 연구 결과에 의하면 응력수준이 높을수록 하중재하 속도에 따른 영향을 크게 받으며, 응력수준이 75%이하에서 피로수명에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 연구된 바 있다.

따라서, 하중재하 속도와 피로수명의 상관성을 실험방법에 따라 분석하기 위하여 하중재하 속도를 1, 5, 10, 20Hz로 변화시켜 이에 대한 영향을 고찰하였다. 그림 4는 하중재하 속도에 따른 피로수명을 실험방법에 따라 결과에 대한 평균값을 도시하여 나타낸 것이며, 표 2는 실험방법과 재하속도에 따라 실험 데이터의 평균과 표준편차를 10Hz를 기준으로 한 상대피로수명의 비율을 나타낸 것이다. 실험결과 휨



인장 피로실험의 경우 하중재하 속도가 10Hz에서 5Hz 및 1Hz로 낮아질수록 피로수명은 각각 61% 및 26%를 나타내어 현저히 감소되는 것으로 나타났으며, 10Hz에서 20Hz로 증가하는 경우 약 10%의 피로수명이 증가하여 둔화되는 것으로 나타나 하중재하 속도가 10Hz~20Hz에서는 크게 영향 받지 않는 것으로 나타났다. 또한, 쪼갬인장 피로실험에서도 1Hz~10Hz의 범위에서는 이러한 경향은 유사하게 나타나지만 하중재하 속도가 10Hz와 20Hz의 결과를 고찰할 때 약 40%의 피로수명이 증가하는 것으로 나타나 하중재하 속도에 따른 영향이 크게 지배되는 것으로 나타났다. 또한, 휨인장 피로실험에 대한 쪼갬인장 피로실험에서의 상대 피로수명 비율은 1Hz에서 74%, 5Hz에서 90%, 10Hz에서 78%, 20Hz에서 83%로 나타나 평균 81%로서 약 19%의 피로수명 감소를 나타냈다.

이러한 이유는 콘크리트가 완전 탄성재료가 아니라 점탄성 재료이기 때문에 하중재하 속도가 낮을수록 콘크리트가 받게 되는 손상과 비탄성 변형에너지가 크기 때문일 것으로 판단된다.

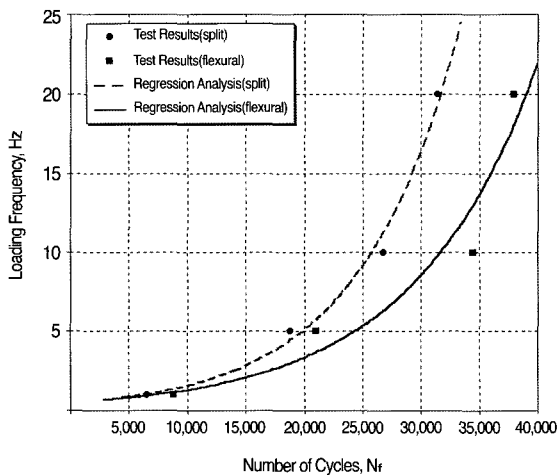


그림 4. Influence of Loading Speed into Concrete Fatigue Life

표 2. Influence of Loading Speed into Split and Flexural Fatigue

|      | Fatigue Life(cycles)                |        |        |                                     |        |        |
|------|-------------------------------------|--------|--------|-------------------------------------|--------|--------|
|      | Split                               |        |        | Flexural                            |        |        |
| 1Hz  | 343                                 | 3,696  | 13,742 | 45                                  | 2,463  | 12,882 |
|      | 467                                 | 4,561  | 22,341 | 361                                 | 10,254 | 15,465 |
|      | 924                                 | 5,066  |        | 1,979                               | 11,310 | 24,619 |
|      | 2,907                               | 11,023 |        |                                     |        |        |
|      | Mean Fatigue Life                   |        | 6,507  | Mean Fatigue Life                   |        | 8,820  |
|      | St. Div.                            |        | 7.117  | St. Div.                            |        | 8.324  |
|      | Relative Life for 10Hz              |        | 23%    | Relative Life for 10Hz              |        | 26%    |
|      | Relative Life of Split for Flexural |        | 74%    | Relative Life of Flexural for Split |        | 136%   |
| 5Hz  | 3,560                               | 16,087 | 33,583 | 846                                 | 8,470  | 45,124 |
|      | 3,991                               | 17,220 | 50,180 | 1,246                               | 26,590 | 52,473 |
|      | 8,839                               | 19,814 |        | 4,026                               | 29,645 |        |
|      | 13,888                              | 21,316 |        |                                     |        |        |
|      | Mean Fatigue Life                   |        | 18,848 | Mean Fatigue Life                   |        | 21,053 |
|      | St. Div.                            |        | 14.124 | St. Div.                            |        | 20.424 |
|      | Relative Life for 10Hz              |        | 84%    | Relative Life for 10Hz              |        | 61%    |
|      | Relative Life of Split for Flexural |        | 90%    | Relative Life of Flexural for Split |        | 112%   |
| 10Hz | 7,992                               | 12,039 | 38,852 | 6,399                               | 38,563 | 62,827 |
|      | 10,708                              | 14,426 | 56,399 | 9,972                               | 42,640 |        |
|      | 11,916                              | 22,475 | 66,294 | 18,236                              | 62,496 |        |
|      |                                     |        |        |                                     |        |        |
|      | Mean Fatigue Life                   |        | 26,789 | Mean Fatigue Life                   |        | 34,448 |
|      | St. Div.                            |        | 21,809 | St. Div.                            |        | 23,540 |
|      | Relative Life                       |        | 100%   | Relative Life                       |        | 100%   |
|      | Relative Life of Split for Flexural |        | 78%    | Relative Life of Flexural for Split |        | 129%   |
| 20Hz | 9,960                               | 23,352 | 40,767 | 7,600                               | 31,173 | 67,671 |
|      | 12,320                              | 25,171 | 59,458 | 12,347                              | 38,311 | 69,853 |
|      | 15,033                              | 35,747 | 61,424 | 16,907                              | 57,065 |        |
|      | 22,181                              | 40,113 |        | 17,514                              | 61,267 |        |
|      | Mean Fatigue Life                   |        | 31,411 | Mean Fatigue Life                   |        | 37,971 |
|      | St. Div.                            |        | 17.752 | St. Div.                            |        | 24.252 |
|      | Relative Life for 10Hz              |        | 140%   | Relative Life for 10Hz              |        | 110%   |
|      | Relative Life of Split for Flexural |        | 83%    | Relative Life of Flexural for Split |        | 121%   |



### 3.2.2 하중재하 형상에 따른 피로수명

일반적으로 반복하중을 받게 되는 구조물의 파형은 주로 정현파(sine)가 일반적이며, 경우에 따라 삼각파 형태의 하중이나 사각파 형태의 하중형상에 지배되기도 한다. 또한, Kennedy(1975) 등이 연구한 아스팔트 재료에 대한 실험결과는 정현파 형태의 하중을 기준으로 사각파 형태의 하중에 대해서는 피로수명이 감소하는 경향을 나타내며, 삼각파 형태의 하중에 대해서는 피로수명이 증가하는 것으로 보고된 바 있다.

따라서, 하중재하 형상이 콘크리트의 피로수명에 미치는 영향을 파악하고자 사각파, 정현파, 삼각파의 하중재하 형상에 따라 실험하였다. 그림 5는 실험방법과 하중재하 형상에 따른 피로수명을 평균하여 그래프로 도시한 것이며, 표 3은 실험결과를 나타낸 것으로 정현파를 기준으로 한 하중재하 형상별 상대 피로수명 비율과 실험방법에 따른 상대 피로수명 비율을 계산하여 나타낸 것이다. 정현파를 사용한 데이터를 기준하여 사각파 형태의 하중은 쪼갠인장 피로실험과 휨인장 피로실험에서 상대 피로수명 비율이 각각 24% 및 27%로 나타나 현저한 피로수명의 감소 결과를 나타냈으며, 삼각파 형태의 하중에서는 각각 138% 및 141%로 나타나 피로수명이 상당히 증가

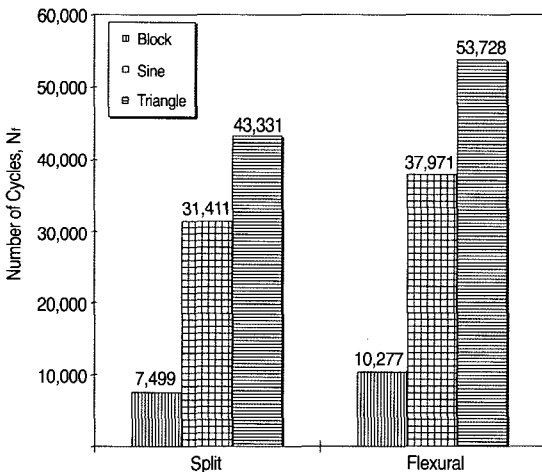


그림 5. Influence of Loading Shape into Concrete Fatigue Life

하는 것으로 나타났다.

이러한 이유는 사각파의 경우 최대하중과 최소하중이 반복적으로 작용하는데 비하여 삼각파에서는 평균하중에서 최대하중까지 선형적으로 하중이 증가되기 때문에 하중의 증가와 감소이력에 따른 영향으로 판단된다.

표 3. Influence of Loading Shape into Split and Flexural Fatigue

|  | Fatigue Life(cycles)                |        |        |                                     |        |         |
|--|-------------------------------------|--------|--------|-------------------------------------|--------|---------|
|  | Split                               |        |        | Flexural                            |        |         |
|  | 1,075                               | 3,432  | 14,525 | 173                                 | 6,493  | 13,032  |
|  | 1,679                               | 7,499  | 18,020 | 812                                 | 8,875  | 37,981  |
|  | 1,864                               | 11,898 |        | 2,143                               | 12,709 |         |
|  | Mean Fatigue Life                   | 7,499  |        | Mean Fatigue Life                   | 10,277 |         |
|  | St. Div.                            | 6,577  |        | St. Div.                            | 12,277 |         |
|  | Relative Life for Sine              | 24%    |        | Relative Life for Sine              | 27%    |         |
|  | Relative Life of Split for Flexural | 73%    |        | Relative Life of Flexural for Split | 137%   |         |
|  | 9,960                               | 23,352 | 40,767 | 7,600                               | 31,173 | 67,671  |
|  | 12,320                              | 25,171 | 59,458 | 12,347                              | 38,311 | 69,853  |
|  | 15,033                              | 35,747 | 61,424 | 16,907                              | 57,065 |         |
|  | 22,181                              | 40,113 |        | 17,514                              | 61,267 |         |
|  | Mean Fatigue Life                   | 31,411 |        | Mean Fatigue Life                   | 37,971 |         |
|  | St. Div.                            | 17,752 |        | St. Div.                            | 24,252 |         |
|  | Relative Life                       | 100%   |        | Relative Life                       | 100%   |         |
|  | Relative Life of Split for Flexural | 83%    |        | Relative Life of Flexural for Split | 121%   |         |
|  | 10,439                              | 24,542 | 75,059 | 6,152                               | 45,693 | 85,082  |
|  | 15,298                              | 39,637 | 92,372 | 23,524                              | 52,817 | 102,214 |
|  | 23,431                              | 65,873 |        | 42,156                              | 72,184 |         |
|  | Mean Fatigue Life                   | 43,331 |        | Mean Fatigue Life                   | 53,728 |         |
|  | St. Div.                            | 30,590 |        | St. Div.                            | 31,735 |         |
|  | Relative Life for Sine              | 138%   |        | Relative Life for Sine              | 141%   |         |
|  | Relative Life of Split for Flexural | 81%    |        | Relative Life of Flexural for Split | 124%   |         |



또한, 휨인장 피로실험에 대한 쪼갬인장 피로실험에서의 상대 피로수명 비율은 사각파, 정현파, 삼각파에서 각각 73%, 83%, 81%로 나타나 평균 79%로서 약 21%의 피로수명 감소를 나타냈다.

### 3.2.3 습윤조건에 따른 피로수명

콘크리트 포장체의 경우 온도나 습도와 같은 환경적 요인에 따라 거동이 변화되며 양생기간의 상대습도나 온도는 콘크리트의 강도에 영향을 미치게 된다. 이러한 영향을 분석하기 위해서는 상대습도와 온도의 변화에 따라 시험되어야 하나 이는 실험여건을 조성하기가 매우 어렵다. 따라서, 시험체를 습윤상태와 건조상태로 구분하여 피로실험을 수행하였으며, 건조상태의 시험체는 재령 28일 동안 수조에 양생시킨 후 수조에서 꺼내어 20±3°C의 공기 중에서 28일 동안 양생하여 실험하고, 습윤상태의 시험체는 재령 56일까지 계속 수중양생 후 수조에서 꺼내어 표면의 수분을 제거한 후 실험하였다.

그림 6은 시험체의 습윤조건에 따른 실험결과를 평균하여 도시한 것이며, 표 4는 실험방법과 습윤조건에 따른 평균 피로수명과 건조상태를 기준으로 상

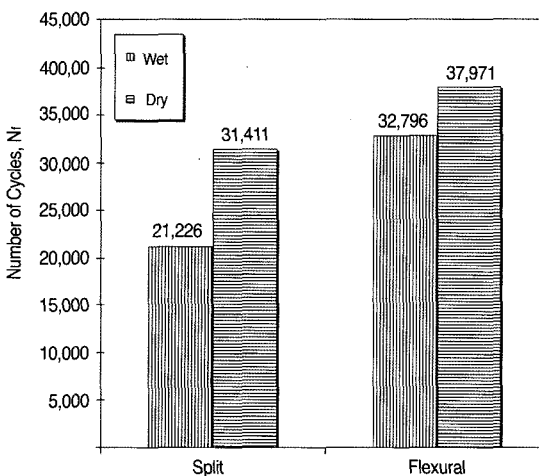


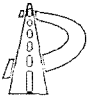
그림 6. Influence of Moisture Condition into Concrete Fatigue Life

대 피로수명의 비율을 나타낸 것이다. 건조상태의 시험체를 기준으로 할 때 습윤상태의 시험체는 쪼갬인장 피로실험과 휨인장 피로실험에서 각각 68% 및 86%로 나타났으며 휨인장 피로실험을 기준으로 한 쪼갬인장 피로실험의 상대 피로수명의 비율은 습윤상태와 건조상태에서 각각 65% 및 83%로 나타나 평균 74%로서 약 26%의 상대 피로수명 감소를 나타냈다.

일반적으로 콘크리트의 강도는 재령 28일까지 증가하며 이때 까지는 건조상태로 양생한 조건보다는 수중에서 양생한 경우가 강도가 크게 발현된다. 그러나 재령 28일 동안 수조에서 동일하게 양생시킨 이후부터는 건조상태의 시험체가 습윤상태의 시험체보다 강도가 증가한다. 이러한 이유는 콘크리트의 수화반응이 끝난 이후에는 파괴시 건조상태의 시험체가

표 4. Influence of Moisture Condition into Split and Flexural Fatigue

|     | Fatigue Life(cycles)                |        |        |                                     |        |        |
|-----|-------------------------------------|--------|--------|-------------------------------------|--------|--------|
|     | Split                               |        |        | Flexural                            |        |        |
| Wet | 4,600                               | 17,212 | 46.258 | 15,454                              | 26,024 | 58.690 |
|     | 8,082                               | 22,426 |        | 20,689                              | 40,779 |        |
|     | 11,019                              | 38,987 |        | 25,782                              | 42,156 |        |
|     | Mean Fatigue Life                   | 21,226 |        | Mean Fatigue Life                   | 32,796 |        |
|     | St. Div.                            | 15,880 |        | St. Div.                            | 15,079 |        |
|     | Relative Life for Dry               | 68%    |        | Relative Life for Dry               | 86%    |        |
|     | Relative Life of Split for Flexural | 65%    |        | Relative Life of Flexural for Split | 155%   |        |
| Dry | 9,960                               | 23,352 | 40,767 | 7,600                               | 31,173 | 67.671 |
|     | 12,320                              | 25,171 | 59.458 | 12,347                              | 38,311 | 69.853 |
|     | 15,033                              | 35,747 | 61.424 | 16,907                              | 57,065 |        |
|     | 22,181                              | 40,113 |        | 17,514                              | 61,267 |        |
|     | Mean Fatigue Life                   | 31,411 |        | Mean Fatigue Life                   | 37,971 |        |
|     | St. Div.                            | 17,752 |        | St. Div.                            | 24,252 |        |
|     | Relative Life                       | 100%   |        | Relative Life                       | 100%   |        |
|     | Relative Life of Split for Flexural | 83%    |        | Relative Life of Flexural for Split | 121%   |        |



습윤상태의 시험체에 비하여 내부의 마찰력이 크기 때문에 결국 강도의 차이가 피로수명에 영향을 미치게 되는 것으로 판단된다.

### 3.2.4 양생기간에 따른 피로수명

콘크리트의 강도나 피로수명은 양생기간에 영향을 받는다. 이 양생기간은 재령 28일까지 콘크리트의 강도에 크게 영향을 미치며 재령 28일 이후에도 양생기간이 길어질수록 강도나 피로수명은 점진적으로 증가하는 것으로 알려져 있다.

이러한, 양생기간이 콘크리트의 피로수명에 미치는 영향을 분석하기 위하여 응력수준 80%에 대한 하중재하 속도 20Hz, 정현파를 적용하여 양생기간의 영향을 고찰하였다. 양생기간은 재령 28일과 56일에 대하여 피로실험 결과를 평균하여 나타내었다. 여기서, 양생기간 동안 시험편은 동일 실험조건으로 하기 위하여 모두 수중에서 양생시킨 후 습윤조건으로 실험하였다.

실험결과는 피로수명의 평균값을 계산하여 그림 7에 도시하였으며, 표 5는 실험방법과 양생기간으로 구분하여 평균 피로수명과 재령 28일을 기준하여 상대 피로수명의 비율을 나타낸 것이다. 재령 28일을 기준으로 하였을 때 재령 56일에서의 피로수명은 조괸인장 피로실험과 휨인장 피로실험에서 각각 8%와

30%의 증가율을 나타내 양생기간에 따른 강도의 증진현상이 피로수명을 증가시킨 것으로 판단되며, 휨인장 피로실험에서 이러한 양생기간에 따른 피로수명의 증가현상이 비교적 큰 것으로 나타났다. 또한,

표 5. Influence of Curing Age into Split and Flexural Fatigue

|        |                                     | Fatigue Life(cycles) |        |        |                                     |        |        |
|--------|-------------------------------------|----------------------|--------|--------|-------------------------------------|--------|--------|
|        |                                     | Split                |        |        | Flexural                            |        |        |
| 28 day |                                     | 4,676                | 16,629 | 41,636 | 4,717                               | 29,990 | 45,551 |
|        |                                     | 7,547                | 21,161 |        | 10,598                              | 31,328 |        |
|        |                                     | 13,308               | 32,462 |        | 18,366                              | 35,388 |        |
|        | Mean Fatigue Life                   | 19,631               |        |        | Mean Fatigue Life                   | 25,134 |        |
|        | St. Div.                            | 13,353               |        |        | St. Div.                            | 14,479 |        |
|        | Relative Life                       | 100%                 |        |        | Relative Life                       | 100%   |        |
|        | Relative Life of Split for Flexural | 78%                  |        |        | Relative Life of Flexural for Split | 128%   |        |
| 56 day |                                     | 4,600                | 17,212 | 46,258 | 15,454                              | 26,024 | 58,690 |
|        |                                     | 8,082                | 22,426 |        | 20,689                              | 40,779 |        |
|        |                                     | 11,019               | 38,987 |        | 25,782                              | 42,156 |        |
|        | Mean Fatigue Life                   | 21,226               |        |        | Mean Fatigue Life                   | 32,796 |        |
|        | St. Div.                            | 15,880               |        |        | St. Div.                            | 15,079 |        |
|        | Relative Life for 28day             | 108%                 |        |        | Relative Life for 28day             | 130%   |        |
|        | Relative Life of Split for Flexural | 65%                  |        |        | Relative Life of Flexural for Split | 155%   |        |

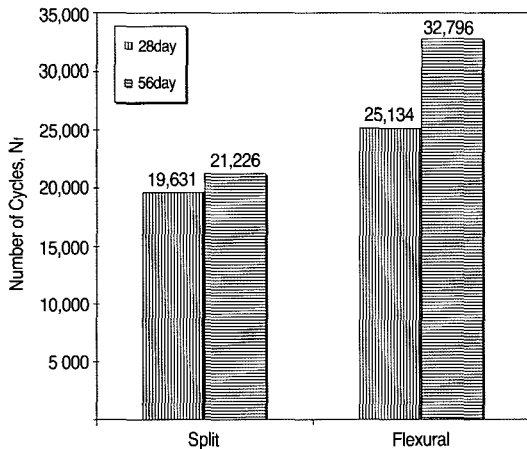


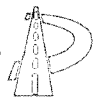
그림 7. Influence of Curing Age into Fatigue Life

휨인장 피로실험을 기준으로 조괸인장 피로실험에서의 피로수명은 재령에 따라 28일에서 78%, 56일에서 65%를 나타내어 평균 72%로서 약 28%의 상대 피로수명의 감소율을 나타냈다.

## 4. 결론

본 논문에서는 포장 콘크리트의 피로수명에 대하여 영향을 미치는 요소를 하중재하 속도, 하중재하 형상, 시험체의 습윤조건 및 양생기간을 주요변수로 선정하여 휨인장 및 조괸인장 피로실험 방법에 따라



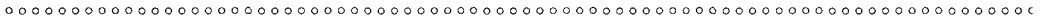


실험한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 하중재하 속도에 따른 피로수명은 10Hz에서 5Hz 및 1Hz로 낮아질수록 피로수명은 현저히 감소되는 것으로 나타나 하중재하 속도가 낮을수록 콘크리트가 받게 되는 손상과 비탄성 변형에 너지가 큰 것으로 판단된다. 실험방법에 따라서는 휨인장 피로실험에 대한 쪼갠인장 피로실험에서의 상대 피로수명 비율은 평균 81%로서 약 19%의 피로수명 감소를 나타냈다.
- 2) 하중재하 형상에 따라서는 정현파를 기준하여 사각파의 하중이 작용한 경우 쪼갠인장 피로실험과 휨인장 피로실험에서 상대 피로수명 비율이 각각 24% 및 27%로 나타나 현저한 피로수명의 감소 결과를 나타냈으며, 삼각파 형태의 하중에서는 각각 138% 및 141%로 나타나 피로수명이 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 휨인장 피로실험에 대한 쪼갠인장 피로실험에서의 상대 피로수명 비율은 평균 79%로서 약 21%의 피로수명 감소를 나타냈다.
- 3) 시험체의 습윤조건에 따른 피로수명은 건조상태의 시험체를 기준하여 습윤상태의 시험체는 쪼갠인장 피로실험과 휨인장 피로실험에서 각각 68% 및 86%로 나타났으며 휨인장 피로실험을 기준으로 한 쪼갠인장 피로실험의 상대 피로수명 비율은 습윤상태와 건조상태에서 각각 65% 및 83%로 나타나 평균 74%로서 약 26%의 상대 피로수명 감소를 나타냈다.
- 4) 양생기간에 따른 피로수명은 재령 28일을 기준으로 하였을 때 재령 56일에서의 피로수명은 쪼갠인장 피로실험과 휨인장 피로실험에서 각각 8%와 30%의 증가율을 나타내 양생기간에 따른 강도의 증진현상이 피로수명을 증가시킨 것으로 판단된다. 또한, 휨인장 피로실험을 기준으로 쪼갠인장 피로실험에서의 피로수명은 재령에 따라 28일에서 78%, 56일에서 65%를 나타내어 평균 72%로서 약 28%의 상대 피로수명의 감소율을 나타냈다.

#### ■ 참고문헌

1. 한국콘크리트학회(1999), “최신 콘크리트 공학”, 기문당, pp. 327~331.
2. Alliche, A. and D. Francois(1992), “Damage of Concrete in Fatigue,” *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 118, No. 11, pp. 2176~2190.
3. Cowher, C. E. and T. W. Kennedy(1975), “Cumulative Damage of Asphalt Materials Under Repeated-Load Indirect Tension,” Center for Highway Research, *Research Report 183-3*.
4. Gettu, R., A. Aguado, and M. O. F. Oliveira(1996), “Damage in High-Strength Concrete Due to Monotonic and Cyclic Compression-A Study Based on Splitting Tensile Strength,” *ACI Material Journal*, Vol. 93, Document. 93-M58.
5. Holmen, J. O.(1979), “Fatigue of concrete by constant and variable amplitude loading,” Division of Concrete Structure, The Norwegian Institute of Technology, The University of Trondheim, Trondheim, Norway.
6. Holmen, J. O.(1982), “Fatigue of Concrete by Constant and Variable Amplitude Loading,” ACI Publication SP75-4, pp. 71~110.
7. Kim, J. K. and Y. Y. Kim(1996), “Experimental Study of The Fatigue Behavior of High Strength Concrete,” *Cement and Concrete Research*, Vol. 26, No. 10, pp. 1513~1523.
8. Klaiber, F. W. and D. Y. Lee(1982), “The Effects of Air Content, Water-Cement Ratio, and Aggregate Type on the Flexural Fatigue Strength of Plain Concrete,” ACI Publication



SP75-5, pp. 111~131.

9. Ralejs, T. and K. Thomas(1979), "Fatigue Strength of Plain, Ordinary, and Lightweight Concrete," *ACI Journal, Proceedings V. 76*, No. 5, May, pp. 635~652.

10. Stock, A. F.(1988), "*CONCRETE PAVEMENTS*," ELSEVIER APPLIED SCIENCE.

〈접수 2003. 5. 9〉